

**Визначення механічних властивостей при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава типу «Т» з випробувань на кручення**

**С. Ю. Назаренко, Р. І. Коваленко, В. В. Асоцький, Г. О. Чернобай,  
А. Я. Калиновський, І. В. Цебрюк, О. І. Шаповалов, І. К. Шаша,  
В. М. Дем'янишин**

*Представлені експериментальні дослідження з визначення механічних властивостей (пружних та дисипативних) при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм з випробувань на кручення. В ході роботи проведено низку натурних експериментів на кручення зразків напірного рукава з внутрішнім гідравлічним тиском ( $P$ ) в рукаві 0.2 МПа ( $P_1$ ), 0.4 МПа ( $P_2$ ) та 0.6 МПа ( $P_3$ ) в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження. Випробування складались з 6 циклів – для кожного з ( $P$ ) навантаження-розвантаження, які проводилися із двохвилинним інтервалом, визначено жорсткість та модулі пружності при зсуві матеріалу рукава з випробувань на кручення. Встановлено, що чисельні результати механічних властивостей залежать від «історії» навантаження рукава, тобто на перших двох, трьох циклах навантаження модулі пружності збільшувалися і лише потім на наступних – стабілізувалися на рівні 3.04 МПа для  $P_1$ , 4.35 МПа для  $P_2$ , 4.39 МПа для  $P_3$ . Вказане, разом із суттєвим зменшенням залишкових деформацій, посилює пружні властивості матеріалу пожежного рукава.*

*Результати досліджень апроксимовані відповідними лініями трендів. Визначено рівняння залежності діючого крутного моменту від деформації. Встановлено криві деформування зразків, що в умовах циклічного навантаження-розвантаження формували петлі гістерезису. Отримані петлі гістерезису в ході дослідження на перших двох режимах зазнають кількісних та якісних змін, а саме, зменшується нахил та його площа. Встановлено схожість експериментальних досліджень між собою при різних внутрішніх тисках ( $P$ ).*

*Зміна властивостей матеріалу пожежного рукава при послідовних циклах деформацій навантаження-розвантаження є зворотною, проміжки між циклами деформування призводять до часткового відновлення механічних характеристик, наближаючи їх до початкових значень.*

*Ключові слова: напірний пожежний рукав, робочий тиск, модуль пружності, гістерезис, дисипативні властивості, кручення.*

## **1. Вступ**

Здавна однією з головних проблем, яка створювала небезпеку для життя та здоров'я населення планети були пожежі. Згідно [1], у структурі викликів аварійно-рятувальних формувань (АРФ) пожежі і на сьогодні виникають частіше порівняно з іншими видами небезпечних подій та надзвичайних ситуацій.

Відомі з історії факти, коли пожежі спустошували цілі міста, а їх мешканці не могли ефективно протидіяти названій стихії.

З розвитком науки і техніки почали з'являтися перші автомобілі і спеціалізоване пожежно-технічне оснащення (ПТО) для гасіння пожеж. При виникненні надскладних пожеж, таких як ландшафтні пожежі [2], або на небезпечних об'єктах, АРФ використовують велику кількість ПТО. Але успішне проведення робіт по гасінню пожежі АРФ залежить не тільки від часу зосередження сил та засобів на місці виклику [1], але і від показників безвідмовної роботи ПТО [3]. В перелік ПТО входять: сітка всмоктувальна, пожежна колонка, пожежні рукава, розгалуження, пожежні стволи та інше допоміжне оснащення. Згідно статистики [4], найменшу надійність серед вказаного раніше оснащення мають пожежні рукава. Пожежні рукава – це гнучкі трубопроводи, які на кінцях обладнані з'єднувальними головками та призначені для транспортування вогнегасних речовин. Вони поділяються на всмоктувальні, напірно-всмоктувальні та напірні. Перші два типи рукавів застосовуються для транспортування вогнегасних речовин під розрідженням при забиранні їх пожежними насосами з відкритого вододжерела або зовнішньої водопровідної мережі. Пожежні рукава третього типу призначені для транспортування вогнегасних речовин під надлишковим тиском до пожежних стволів. Повертаючись до питання надійності ПТО серед трьох типів пожежних рукавів найменшу надійність мають напірні пожежні рукава (НПР) [4]. Причинами відмов НПР можуть бути виробничі дефекти у їх конструкції, порушення умов зберігання та випробування. В процесі гасіння пожеж до вказаного переліку причин відмов додаються ще проколи та порізи, прогари, розриви та ослаблення кріплень з'єднувальних головок.

З метою запобігання виходу з ладу в процесі експлуатації НПР періодично підлягають гідравлічним випробуванням на герметичність шляхом створення в їх внутрішній порожнині надлишкового тиску. Цей спосіб випробувань дозволяє встановити лише наявні зовнішні пошкодження, а головним його недоліком можна вважати те, що він не дає змоги виявити внутрішні дефекти матеріалу з якого виготовлений НПР.

Таким чином, забезпечення надійності НПР в процесі пожежогасіння потребує дотримання належних умов їх експлуатації, зокрема, періодичних випробувань. Спосіб випробувань НПР, який використовується АРФ, не дозволяє встановити в них приховані дефекти. Відповідно розробка нового способу випробування НПР, який дозволить встановлювати в них приховані дефекти є важливою науково-практичною задачею.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

В роботі [3] запропоновано системний підхід і принцип оцінки готовності АРФ до проведення оперативних дій. Вважається, що підрозділ готовий до виконання оперативних дій, за умови наявності в ньому необхідної кількості технічно справної техніки і підготовленого та укомплектованого згідно штату особового складу. При цьому, окремо враховуються ймовірності того, що в АРФ є відповідний вид техніки у необхідній кількості, техніка знаходиться у справному стані, а також ймовірність її безвідмовної роботи в процесі проведення опе-

ративних дій. Відповідно від технічного стану НПР, як одного із видів ПТО, буде залежати підсумковий показник готовності АРФ до виконання оперативних дій, що в роботі [3] розглянуто не було.

З метою попередження виходу з ладу НПР в процесі експлуатації періодично проводиться діагностування їх технічного стану. В підрозділах АРФ основним методом діагностування, як було вказано раніше, є гідравлічне випробування НПР на герметичність.

Відомим методом діагностування технічного стану гнучких трубопроводів, зокрема гідравлічних шлангів високого тиску є метод, який полягає у застосуванні промислової комп'ютерної томографії. Згідно [5], названий метод має обмеження, яке полягає у тому, що необхідно попередньо проводити перевірку можливості його застосування для конкретного виду гідравлічного шлангу високого тиску. Це пов'язано з тим, що гідравлічні шланги високого тиску можуть бути, як і НПР, багат шаровими, а матеріал з яких виготовлені відповідні шари може також бути композитним. Враховуючи вказане обмеження цього методу діагностування, можна прийти до висновку, що він не є універсальним та не може бути застосований для діагностування технічного стану всіх існуючих видів НПР.

В процесі експлуатації НПР часто перебувають у тривалому напружено-деформованому стані, що супроводжується інтенсивною втомою матеріалу з якого вони виготовлені. Інтенсивна втома сприяє зміні властивостей матеріалу НПР, виникненню та розвитку тріщин і через певний час їх руйнуванню. В роботі [6] пропонується застосування методів гомогенізації та інтерполяції для моделювання і проведення аналізу деформацій гнучких трубопроводів гідравлічної системи гальм автомобіля. Встановлені математичні залежності отримані із застосуванням вказаних методів дозволяють прогнозувати ділянки з деформаціями в гнучкому трубопроводі і, відповідно, виявляти ймовірні місця пошкоджень. Поряд з цим, в роботі [6] відмічається низька точність запропонованого підходу, що пов'язано з використанням достатньо простої моделі, яка не може успішно відтворити деформацію гнучкого трубопроводу враховуючи його структуру. Аналогічна проблема, яка пов'язана з визначенням прихованих дефектів в гнучких трубопроводах, що спричинені втомою матеріалу, вирішується і в роботі [7]. В цій роботі цикли деформації і напруги в різних варіаціях розраховуються методом підрахунку циклів дощового потоку, а життєвий цикл втоми оцінюється трьома моделями оцінки втомного ресурсу. Враховуючи те, що досліджувані в роботі гнучкі трубопроводи складаються з шарів гуми та тканинного плетіння в процесі досліджень приймалися певні допущення. Зокрема, проводиться дослідження втомних процесів, які виникають лише в гумовому шарі в той час як втомні процеси, що відбуваються у плетеному тканинному шарі не враховуються. Вказані допущення в процесі досліджень в роботі [7] не дозволяють стверджувати про високу точність одержаних результатів і їх достовірність, що піддає сумніву доцільність використання цих методів на практиці.

В роботі [8] досліджується характер деформації, яка викликана навантаженням і оцінено внутрішній тиск при якому відбувається руйнування гнучкого трубопроводу залежно від структури плетіння його армуючого шару. Серед ви-

дів деформації розглядалися розтяг та кручення гнучкого трубопроводу під дією зростаючого в середині нього тиску. У якості текстильного армування розглядалися прості ткацькі плетіння. Встановлені залежності були описані математичними моделями. Однак в роботі не було розглянуто характер деформацій гнучких трубопроводів при наявності в них механічних пошкоджень, що можна було використати при діагностуванні технічного стану НПР.

В роботах [9, 10] було запропоновано математичні моделі для розрахунку розривного гідравлічного тиску у внутрішній порожнині НПР. Моделі враховувати такі показники, як натяг в утковій нитці при розриві, радіус НПР, геометричні щільності по основі та утку тканинної оболонки НПР, діаметри ниток і коефіцієнти їх вертикального зминання. Крім цих показників в математичних моделях було ще враховано коефіцієнти, які характеризують довжини зон контакту між нитками в долях діаметрів ниток основи та утку. Відповідно вказані математичні моделі можуть бути використані лише при проектуванні нових видів НПР.

В роботі [11] пропонується математична модель процесу накопичення не локалізованого втомного пошкодження в гумо подібних матеріалах. Ця математична модель дозволяє спрогнозувати ймовірний розмір втомних пошкоджень, а визначити конкретне місце їх виникнення вона не дозволяє. Вказане обмеження не дозволяє застосувати математичну модель [11] в процесі діагностування технічного стану НПР з метою виявлення в них прихованих дефектів.

В процесі розтягування НПР відбувається самонагрівання матеріалу з якого вони виготовлені, що є причиною зміни їх властивостей і веде до появи в них залишкових деформацій та прихованих пошкоджень. Розтягування НПР відбувається під час прокладання рукавних ліній по вертикальним поверхням. В роботі [12] проведено дослідження дисипативних характеристик композитних матеріалів на основі гуми під дією циклічних навантажень з урахуванням особливостей їх само розігріву. Розтягування зразків проводилося під дією тривалого циклічного навантаження. В дослідженнях були використані плоскі зразки матеріалу на основі гуми з армуючими волокнами всередині. У підсумку були отримані залежності температури стабілізації теплового стану досліджуваних зразків від умов навантаження. Крім цього, встановлені залежності модуля втрат, коефіцієнта дисипації і часу релаксації від частоти навантажень, амплітуди деформацій та температури само розігріву матеріалу. Якщо розглядати реальний процес само розігріву НПР, то необхідно враховувати те, що всередині нього відбувається циркуляція води, яка охолоджує матеріал з якого він виготовлений. Відповідно описані раніше умови експерименту [12] зі зразком з композитного матеріалу на основі гуми не відповідають реальним умовам в яких відбувається розтягування і самонагрівання НПР. З цих причин результати досліджень, які наведені в роботі [12], не можуть бути використані в процесі діагностування технічного стану НПР. Схожі дослідження були проведені в роботі [13]. У якості дослідних зразків використовувалися відрізки НПР типу «Т» із внутрішнім діаметром 66 мм. Випробування складались з 5 циклів навантаження-розвантаження, які проводилися із двохвилинним інтервалом. З урахуванням експериментальних даних визначено модуль пружності при розтяганні матеріалу НПР у поздовжньому напрямку. В роботі [13] було встановлено, що

під дією статичного навантаження відбувається зміна фізичних властивостей матеріалу та виникнення залишкової деформації. Особливістю вказаного процесу є його зворотність, тобто через певний час під час циклу розвантаження відбувається часткове відновлення фізичних властивостей матеріалу з якого виготовлений НПР. Відповідно результати досліджень [13] дозволяють зрозуміти поведінку матеріалу НПР при його повздовжньому розтягненні але не можуть бути використані для пошуку наявних в ньому прихованих дефектів.

У практиці використання НПР АРФ трапляються випадки впливу на них автомобільного палива, що можливо при гасінні пожеж та проведенні аварійно-рятувальних робіт на об'єктах транспорту, нафтовидобутку і зберігання нафтопродуктів.

Згідно [14], при впливі на еластomers, які входять до складу НПР автомобільного палива, відбувається зміна їх фізичних властивостей. В цій роботі досліджувався вплив на фізичні властивості еластомерів дизельного палива та біодизеля. Дослідження проводилося шляхом статичного опускання в дизель та біодизель зразків еластомерів на час, який складав 1000 один. Через кожні 250 годин проводилися заміри маси і об'єму, твердості і міцності на розрив досліджуваних зразків. В ході циклу експериментів спостерігався процес зміни хімічного складу палива в який було опущено дослідний зразок еластомеру, що було встановлено методами газової хроматографії з мас-спектроскопією. За результатами досліджень встановлені види еластомерів, які мають високу порівняно з іншими зразками стійкість до дії дизельного палива та біодизеля. Ці результати можуть бути використані в процесі визначення технічного стану НПР, які контактували з розлитим паливом, за умови відомого складу матеріалу з якого вони виготовлені.

В роботі [15] проводилося дослідження причин пошкоджень гнучких трубопроводів гідро підсилювача рульового керування транспортного засобу. За результатами цих досліджень було встановлено, що переважна більшість втрат гальмівної рідини з гнучких трубопроводів відбувається у місцях встановлення на них з'єднувальної арматури. Причинами вказаних втрат є гострі кути втулки, яка пошкоджує зовнішній гумовий шар трубопроводу. В роботі [16] було встановлено, що причинами витоків в місцях встановлення з'єднувальної арматури, крім вказаних раніше, є її руйнування через відхилення в процесі виробництва. Аналогічні пошкодження спостерігаються і в місцях встановлення з'єднувальних головок на кінцях НПР, що також пов'язано з їх якістю виготовлення та помилками допущеними при встановленні. Пошкодження в місцях приєднання з'єднувальної арматури в роботах [15, 16] виявлялися за явними ознаками, тобто за наявного підтікання рідини. В роботах [15, 16] були запропоновані рекомендації щодо покращення якості виготовлення з'єднувальної арматури. Даних щодо необхідності та порядку проведення діагностування технічного стану гнучких трубопроводів і з'єднувальної арматури з метою попередження виходу їх з ладу в процесі експлуатації у вказаних раніше роботах не наведено.

Таким чином, з проведеного огляду літературних джерел [3–16] було встановлено, що більшість досліджень пов'язані з визначенням причин пошкоджень гнучких трубопроводів [8–10, 15, 16]. Крім цього, ряд робіт [7, 12–14]

пов'язані з дослідженнями поведінки матеріалу з якого виготовлені гнучкі трубопроводи при різних впливах на них. Лише в окремих роботах наведені методи, які дозволяють встановити [5, 6] або спрогнозувати [11] можливі пошкодження гнучких трубопроводів, зокрема НПР. Через встановлені недоліки та обмеження цих методів вони не можуть бути ефективно застосовані для діагностування технічного стану НПР. Відповідно стає однозначно зрозуміло, що пошкодження, які виникають в матеріалах з яких виготовлені гнучкі трубопроводи впливають загалом на зміну їх фізичних властивостей. Вказана особливість поведінки матеріалів у проаналізованих роботах є мало дослідженою, що дозволяє сформулювати проблематику цих досліджень. Встановлення факту зміни фізичних властивостей матеріалу з якого виготовлений НПР при його пошкодженні потребує, в першу чергу, проведення досліджень механічних властивостей зразків в яких пошкодження відсутні. Для цього необхідно провести дослідження механічних властивостей НПР типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм. Вибір саме цього типу та діаметру рукавів пояснюється найбільшою частотою використання при прокладанні магістральних рукавних ліній в процесі пожежогасіння.

### **3. Мета і завдання дослідження**

Метою дослідження є визначення пружних та дисипативних властивостей при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава типу «Т» з випробувань на кручення, в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження при різному тиску в рукаві для наступних розрахунків їх надійності.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- провести експериментальні дослідження з визначення пружних властивостей при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава з випробувань на кручення;
- провести експериментальні дослідження з визначення дисипативних властивостей при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава з випробувань на кручення.

### **4. Методика експериментальних досліджень з визначення пружних та дисипативних властивостей при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава типу «Т» з випробувань на кручення**

В ході роботи було проведено низку натурних експериментів з визначення пружних та дисипативних властивостей при крученні зразків нових напірних пожежних рукавів типу «Т» з внутрішнім діаметром 77 мм в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження і статистичною обробкою результатів.

Детально конструкцію НПР було розглянуто у роботі [13]. Дослідний зразок було відокремлено від пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 77 мм, товщиною стінки  $\delta=2.7$  мм мав випробувальну довжину  $L=0.980$  м.

Зразок фіксувався в експериментальній установці у вертикальному положенні за допомогою циліндричних механічних затискачів. Задавалося жорстке навантаження, тобто задавались фіксовані значення деформації зразків, при цьому вимірювались зусилля штатним механічним динамометром. Динамометр перед застосуванням проходив перевірку шляхом послідовного навантаження із

використанням зразкового динамометра і наступною побудовою відповідних характеристик та визначенням необхідних коефіцієнтів.

Для проведення відповідних робіт було використано дослідну установку, схема якої наведено на рис. 1.

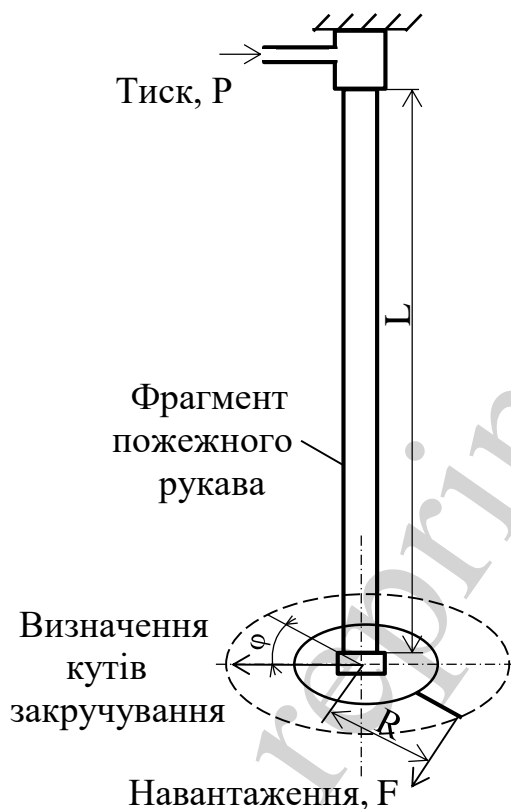


Рис. 1. Дослідна установка із встановленим фрагментом пожежного рукава

Проведено цикли випробувань з його закручування відносно поздовжньої осі на деякий кут  $\varphi$  із кроком  $60^\circ$  при дії крутного моменту  $M_k$ , який дорівнює добутку силового навантаження  $F$  (визначається динамометром) на довжину  $R=0.281$  м важеля. Експерименти проводились в двох окремих варіантах. Першими було проведено експерименти на визначення пружних властивостей матеріалу НПР при крученні. Другим варіантом експериментів були випробування на визначення в'язкопружних властивостей матеріалу.

Кожен експеримент проводився із зразками, які були відокремлені від різних ділянок різних рукавів, тобто щонайменше 9-ть зразків з наступною статистичною обробкою результатів, а також для перевірки їх повторюваності.

#### **4. 1. Експериментальні дослідження пружних властивостей при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава з випробувань на кручення**

Дослідження проводились при внутрішньому тиску ( $P$ ) в рукаві  $P_1=0.2$  МПа,  $P_2=0.4$  МПа та  $P_3=0.6$  МПа, з шестикратним повторенням.

Результати випробувань при  $P_1=0.2$  МПа наведені в табл. 1.

Початковий (1) цикл навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава.

Максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_1^{\max} = 540^\circ$  при навантаженні  $M_1^{\max} = 17.2$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_1^{\text{зал}} = 180^\circ$ .

При повторному циклі 2, який було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_2^{\max} = 420^\circ$  при навантаженні  $M_2^{\max} = 20.4$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_2^{\text{зал}} = 240^\circ$ .

При наступному навантаженні (цикл 3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_3^{\max} = 480^\circ$  при навантаженні  $M_3^{\max} = 25.52$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_3^{\text{зал}} = 300^\circ$ .

При наступних циклах навантаження (4–6), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_{4-5}^{\max} = 780^\circ$  при навантаженні  $M_{4-5}^{\max} = 27.9$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_{4-5}^{\text{зал}} = 300^\circ$ .

Таблиця 1

Результати випробувань НІР при  $P_1=0.2$  МПа деформації крученням

Кут закручування $\phi$ , град	Тиск у рукаві, $P_1=0.2$ МПа			
	Крутний момент $M$ , Нм			
	Цикл 1	Цикл 2	Цикл 3	Цикл 4–6
	Н	Н	Н	Н
0	0.00	—	—	—
60	2.59	—	—	—
120	3.77	—	—	—
180	5.25	0.00	—	—
240	7.25	4.31	0.00	—
300	9.34	6.59	4.58	0.00
360	11.3	8.87	6.53	5.33
420	13.65	11.05	9.32	7.65
480	15.65	13.34	11.77	9.63
540	17.20	16.15	14.41	12.08
600	—	20.40	18.61	15.25
660	—	—	22.75	21.20
720	—	—	25.52	25.34
780	—	—	—	27.90

Результати випробувань при  $P_2=0.4$  МПа наведені в табл. 2.



Початковий (1) цикл навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава.

Максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_1^{\max} = 480^\circ$  при навантаженні  $M_1^{\max} = 26.92$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_1^{\text{зал}} = 120^\circ$ .

При повторному циклі 2, який було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_2^{\max} = 540^\circ$  при навантаженні  $M_2^{\max} = 29.80$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_2^{\text{зал}} = 180^\circ$ .

Таблиця 2

Результати випробувань НІР при  $P_2=0.4$  МПа деформації крученням

Кут закручування $\phi$ , град	Тиск у рукаві, $P_2=0.4$ МПа			
	Крутний момент $M$ , Нм			
	Цикл 1	Цикл 2	Цикл 3	Цикл 4–6
	Н	Н	Н	Н
0	0.00	—	—	—
60	5.17	—	—	—
120	7.12	0.00	—	—
180	9.59	6.30	0.00	0.00
240	12.23	9.80	6.75	7.30
300	14.85	12.10	10.70	9.81
360	19.52	15.75	13.80	12.24
420	22.65	19.60	18.05	17.93
480	26.92	26.10	23.47	24.55
540		29.80	29.53	29.90

При наступному навантаженні (цикл 3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_3^{\max} = 540^\circ$  при навантаженні  $M_3^{\max} = 29.53$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_3^{\text{зал}} = 180^\circ$ .

При наступних циклах навантаження (4–6), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_{4-5}^{\max} = 540^\circ$  при навантаженні  $M_{4-5}^{\max} = 29.90$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_{4-5}^{\text{зал}} = 180^\circ$ .

Результати випробувань при  $P_3=0.6$  МПа наведені в табл. 3.

Початковий (1) цикл навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава.

Максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_1^{\max} = 480^\circ$  при навантаженні  $M_1^{\max} = 29.95$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_1^{\text{зал}} = 120^\circ$ .

При повторному циклі 2, який було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_2^{\max} = 540^\circ$  при навантаженні  $M_2^{\max} = 32.4$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_2^{\text{зал}} = 120^\circ$ .

При наступному навантаженні (цикл 3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_3^{\max} = 540^\circ$  при навантаженні  $M_3^{\max} = 34.47$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_3^{\text{зал}} = 120^\circ$ .

Таблиця 3

Результати випробувань НІР при  $P_3=0.6$  МПа деформації крученням

Кут закручування $\phi$ , град	Тиск у рукаві, $P_3=0.6$ МПа			
	Крутний момент $M$ , Нм			
	Цикл 1	Цикл 2	Цикл 3	Цикл 4–6
	Н	Н	Н	Н
0	0.00	—	—	—
60	6.4	—	—	—
120	8.64	0.00	0.00	0.00
180	11.2	9.29	9.01	9.24
240	14.0	11.1	11.7	12.1
300	16.72	15.27	14.52	14.56
360	20.37	19.41	18.37	18.9
420	23.71	23.4	22.2	22.53
480	29.95	28.91	28.46	28.67
540	—	32.4	34.47	35.24

При наступних циклах навантаження (4–6), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_{4-5}^{\max} = 540^\circ$  при навантаженні  $M_{4-5}^{\max} = 35.24$  Нм.

Залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_{4-5}^{\text{зал}} = 180^\circ$ .

#### 4. 2. Результати експериментальних досліджень пружних властивостей при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава з випробувань на кручення

Графіки, які відповідають статистично обробленим результатам випробувань з кручення напірного пожежного рукава при внутрішньому тиску  $P_1=0.2$  МПа наведені на рис. 2,  $P_2=0.4$  МПа наведені на рис. 3 та  $P_3=0.6$  МПа наведені на рис. 4.

Аналізуючи графічну частину (рис. 2–4) при різних величинах тиску в рукаві, можливо прийняти у першому наближенні залежність між навантаженням та деформацією фрагменту НПР з випробувань на кручення лінійною, та визначити його жорсткість:

$$C_i = \frac{M_i^{\max}}{\Delta\phi_i^{\max}}, \quad (1)$$

де:  $C_i$  – жорсткість для  $i$ -го циклу;  $M_i^{\max}$  – максимальне навантаження для  $i$ -го циклу;  $\Delta\phi_i^{\max}$  – максимальна величина деформації  $i$ -го циклу.

З урахуванням статистично оброблених експериментальних даних (табл. 1–3) модуль пружності при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава з випробувань на кручення наведено в табл. 4.

Графіки на рис. 4 відповідають статистично обробленим результатам випробувань з кручення напірного пожежного рукава при внутрішньому тиску  $P_3=0.6$  МПа.

Таким чином, модулі пружності спочатку збільшуються, а на 4–6 випробуваннях стабілізуються.

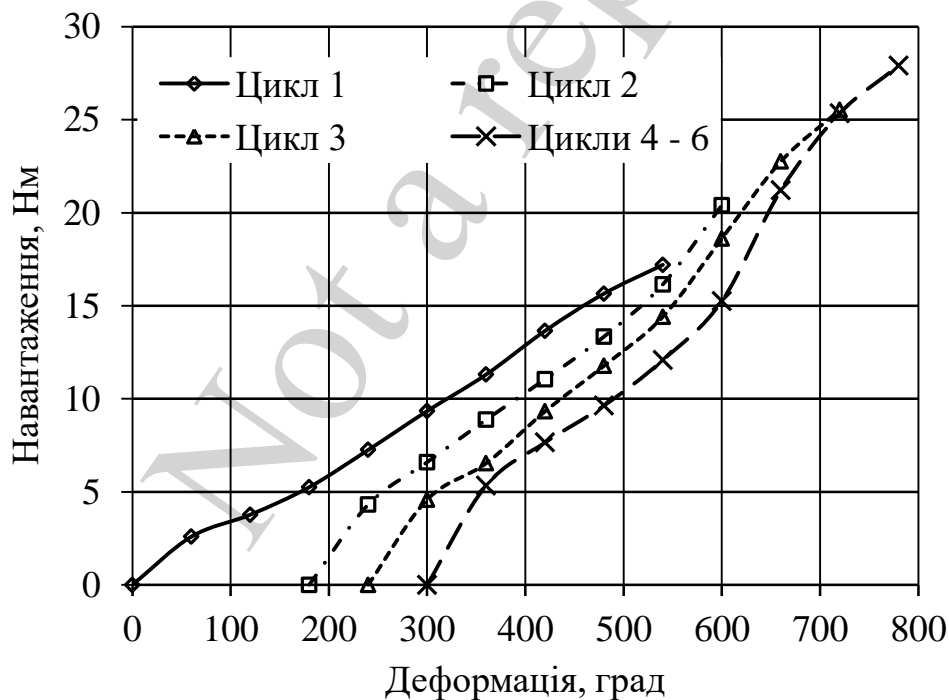


Рис. 2. Діаграми навантажень випробувальних фрагментів пожежного рукава при крученні (тиск у рукаві  $P_1=0.2$  МПа)

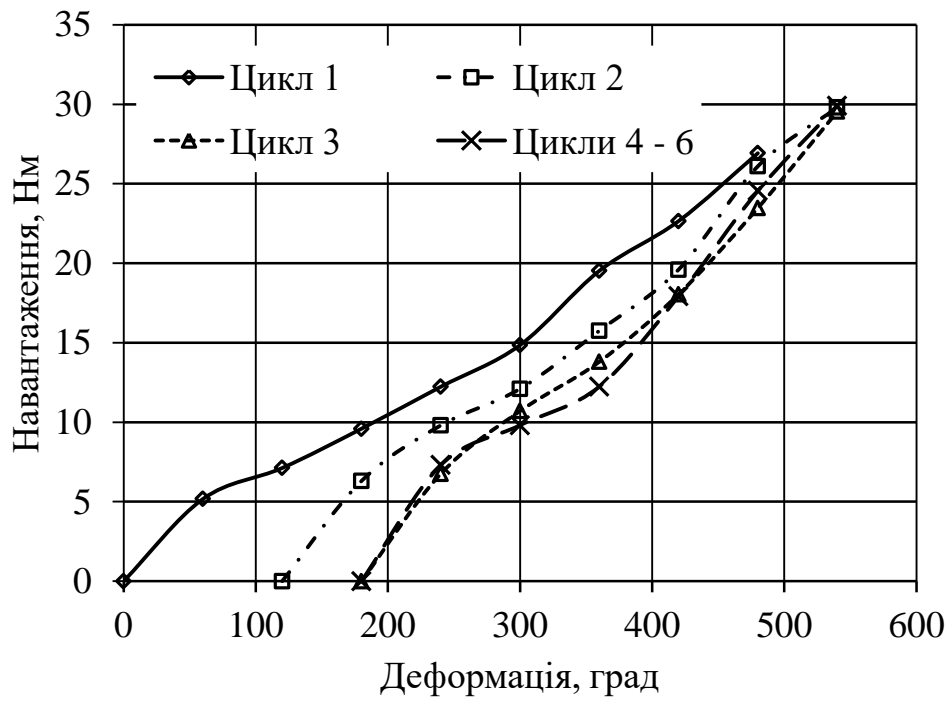


Рис. 3. Діаграми навантажень випробувальних фрагментів пожежного рукава при крученні (тиск у рукаві  $P_2=0.4$  МПа)

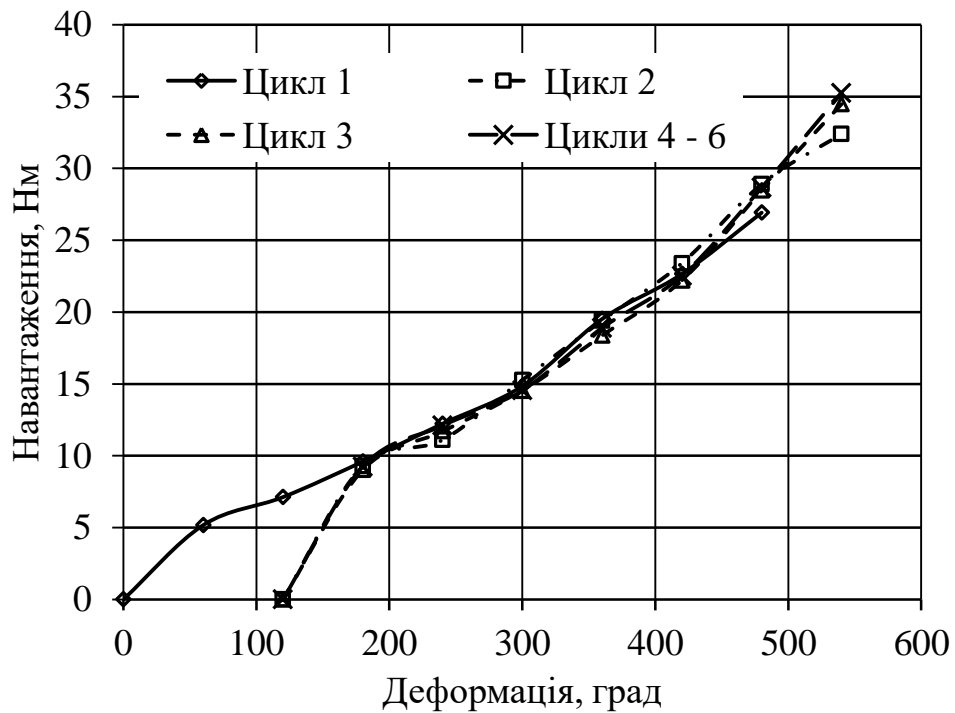


Рис. 4. Діаграми навантажень випробувальних фрагментів пожежного рукава при крученні (тиск у рукаві  $P_3=0.6$  МПа)



При повторному навантаженні (рис. 6), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_2^{\max} = 420^\circ$  при навантаженні  $M_2^{\max} = 20.4$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_2^{\text{зал}} = 60^\circ$ .

При третьому навантаженні (рис. 7), максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_3^{\max} = 480^\circ$  при навантаженні  $M_3^{\max} = 25.52$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_3^{\text{зал}} = 60^\circ$ .

Числові параметри наступних двох циклів (4)–(6) навантаження (рис. 8), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити їх значення. Максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_{4-6}^{\max} = 480^\circ$  при навантаженні  $M_{4-6}^{\max} = 27.9$  Нм. Залишкова деформація після розвантаження була відсутня.

Результати випробувань матеріалу напірного пожежного рукава з випробувань на кручення при внутрішньому тиску  $P_2=0.4$  МПа наведені в табл. 6.

Початковий (1) цикл навантаження (рис. 9) проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава. Максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_1^{\max} = 480^\circ$  при навантаженні  $M_1^{\max} = 26.92$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_1^{\text{зал}} = 120^\circ$ .

При повторному навантаженні (рис. 10), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_2^{\max} = 420^\circ$  при навантаженні  $M_2^{\max} = 29.8$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_2^{\text{зал}} = 60^\circ$ .

При третьому навантаженні (рис. 11), максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_3^{\max} = 360^\circ$  при навантаженні  $M_3^{\max} = 29.8$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту відсутня.

Числові параметри наступних двох циклів (4)–(6) навантаження (рис. 12), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити їх значення. Максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_{4-6}^{\max} = 360^\circ$  при навантаженні  $M_{4-6}^{\max} = 29.9$  Нм. Залишкова деформація після розвантаження була відсутня.

Результати випробувань матеріалу напірного пожежного рукава з випробувань на кручення при внутрішньому тиску  $P_3=0,6$  МПа наведені в табл. 7.

Початковий (1) цикл навантаження (рис. 13) проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава. Максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_1^{\max} = 480^\circ$  при навантаженні  $M_1^{\max} = 29.95$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta\phi_1^{\text{зал}} = 120^\circ$ .

При повторному навантаженні (рис. 14), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_2^{\max} = 420^\circ$

при навантаженні  $M_2^{\max} = 32.4$  Нм. Залишкова деформація після розвантаження була відсутня.

Таблиця 6

Результати експериментальних випробувань НПР ( $P_2=0.4$  МПа)

Кут закручування $\varphi$ , град	Тиск у рукаві, $P_2=0.4$ МПа							
	Крутний момент $M$ , Нм							
	Цикл 1		Цикл 2		Цикл 3		Цикл 4–6	
	Н	Р	Н	Р	Н	Р	Н	Р
0	0	–	–	–	–	–	–	–
60	5.17	–	–	–	–	–	–	–
120	7.12	0	0	–	–	–	–	–
180	9.59	0.69	6.3	0	0	0	0	0
240	12.23	2.48	9.8	0.71	6.75	0.67	7.3	0.56
300	14.85	7.34	12.1	1.96	10.7	2.18	9.81	2.48
360	19.52	12.28	15.75	6.32	13.8	4.82	12.24	5.36
420	22.65	18.21	19.6	11.04	18.05	10.04	17.93	10.21
480	26.92	26.92	26.1	19.23	23.47	18.38	24.55	16.77
540	–	–	29.8	29.8	29.53	29.53	29.9	29.9

Таблиця 7

Результати експериментальних випробувань НПР ( $P_3=0.6$  МПа)

Кут закручування $\varphi$ , град	Тиск у рукаві, $P_3=0.6$ МПа							
	Крутний момент $M$ , Нм							
	Цикл 1		Цикл 2		Цикл 3		Цикл 4–6	
	Н	Р	Н	Р	Н	Р	Н	Р
0	0	–	–	–	–	–	–	–
60	6.4	–	–	–	–	–	–	–
120	8.64	0	0	0	0	0	0	0
180	11.2	0.72	9.29	1.69	9.01	1.29	9.24	1.92
240	14	2.37	11.1	3.57	11.7	3.48	12.1	4.56
300	16.72	6.35	15.27	7.38	14.52	9.36	14.56	8.94
360	20.37	11.48	19.41	11.78	18.37	14.32	18.9	14.78
420	23.71	18.49	23.4	17.87	22.2	19.81	22.53	19.86
480	29.95	29.95	28.91	22.39	28.46	24.68	28.67	26.24
540	–	–	32.4	32.4	34.47	34.47	35.24	35.24

При третьому навантаженні (рис. 15), максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_3^{\max} = 420^\circ$  при навантаженні  $M_3^{\max} = 34.47$  Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту відсутня.

Числові параметри наступних двох циклів (4)–(6) навантаження (рис. 16), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не

відрізняються один від одного, що дозволило усереднити їх значення. Максимальна величина деформації становила  $\Delta\phi_{4-6}^{\max} = 420^\circ$  при навантаженні  $M_{4-6}^{\max} = 35.24$  Нм. Залишкова деформація після розвантаження була відсутня.

#### 4. 2. Результати експериментальних досліджень пружних властивостей при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава з випробувань на кручення

Результати статистично оброблених експериментальних досліджень матеріалу НПР з випробування на кручення при внутрішньому тиску  $P_1=0.2$  МПа наведені в табл. 5,  $P_2=0.4$  МПа наведені в табл. 6 та  $P_3=0.6$  МПа наведені в табл. 7 апроксимовані відповідними трендами, графіки яких наведені на рис. 5–16.

Графіки на рис. 7 відповідають поліноміальним трендам циклу 3 навантаження-розвантаження фрагментів матеріалу НПР.

За аналогічною методикою було апроксимовано результати випробування при внутрішньому тиску  $P_2=0.4$  МПа рис. 9–12.

Графіки на рис. 11 відповідають поліноміальним трендам циклу 3 навантаження-розвантаження фрагментів матеріалу НПР.

За аналогічною методикою було апроксимовано результати випробування при внутрішньому тиску  $P_3=0.6$  МПа рис. 13–16.

Графіки на рис. 15 відповідають поліноміальним трендам циклу 3 навантаження-розвантаження фрагментів матеріалу НПР.

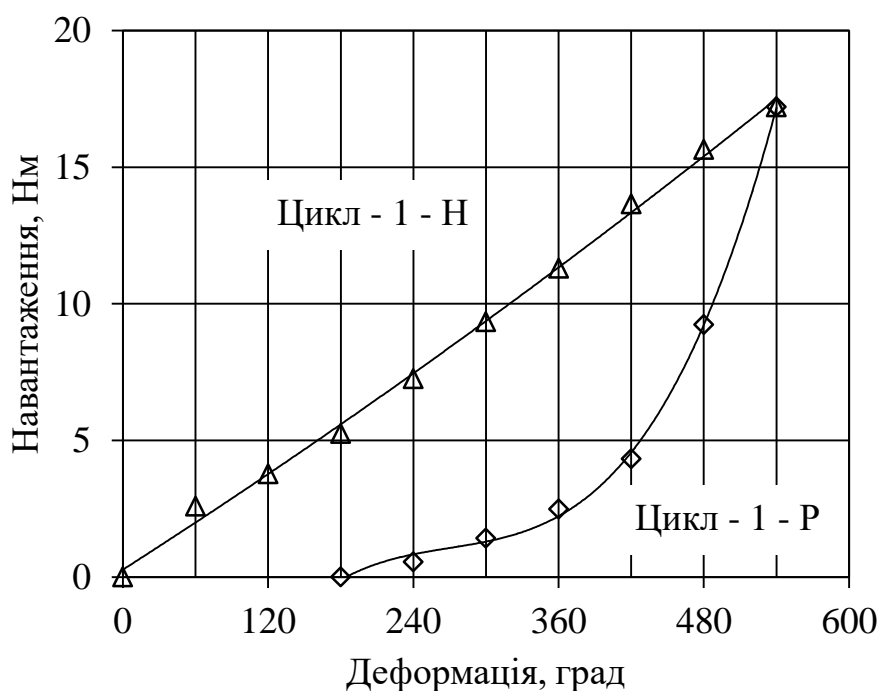


Рис. 5. Графіки трендів циклу 1: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_1=0.2$  МПа)



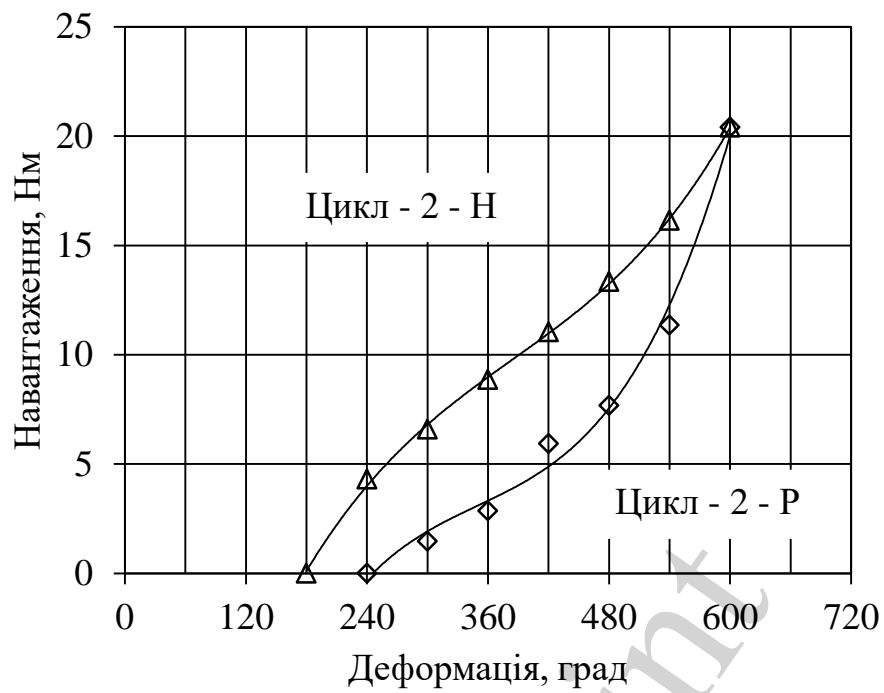


Рис. 6. Графіки трендів циклу 2: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_1=0.2$  МПа)

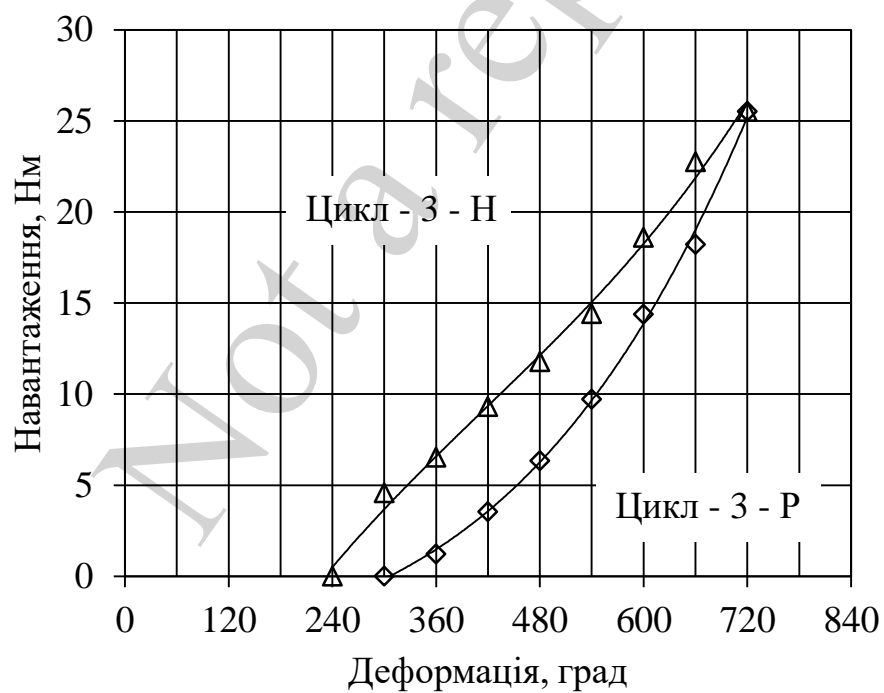


Рис. 7. Графіки трендів циклу 3: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_1=0.2$  МПа)

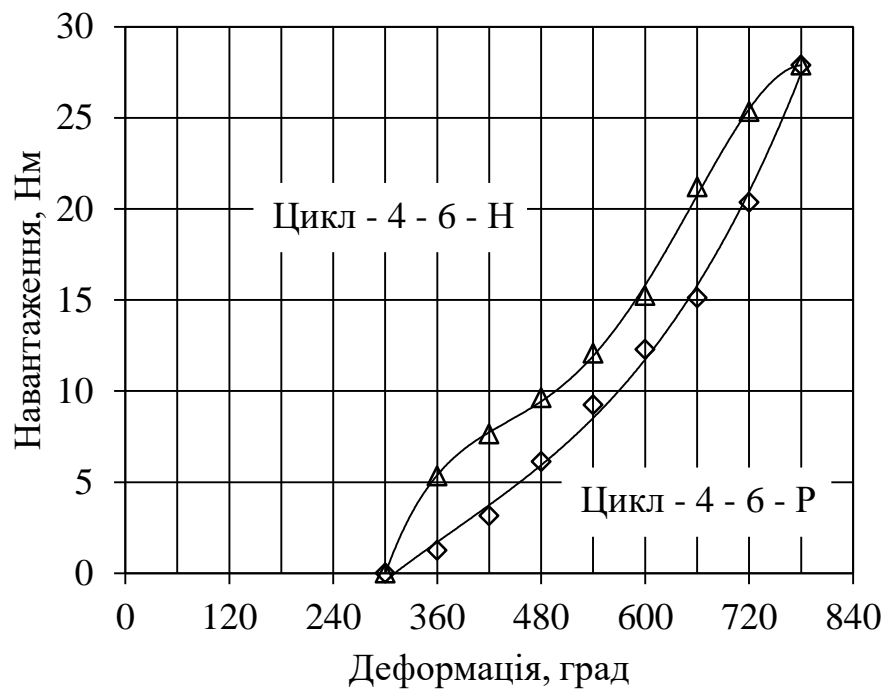


Рис. 8. Графіки трендів циклу 4–6: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_1=0.2$  МПа)

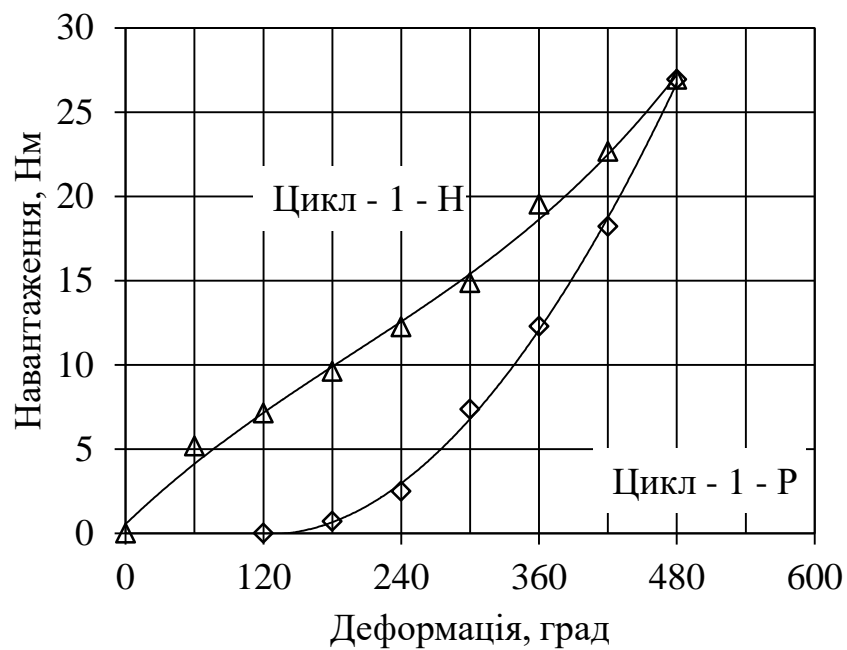


Рис. 9. Графіки трендів циклу 1: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_2=0.4$  МПа)

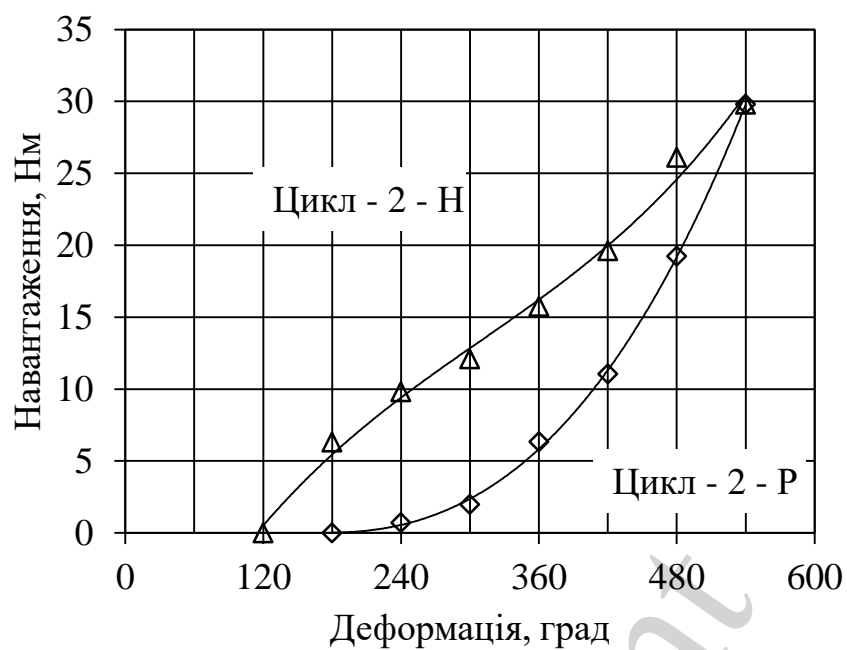


Рис. 10. Графіки трендів циклу 2: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_2=0.4$  МПа)

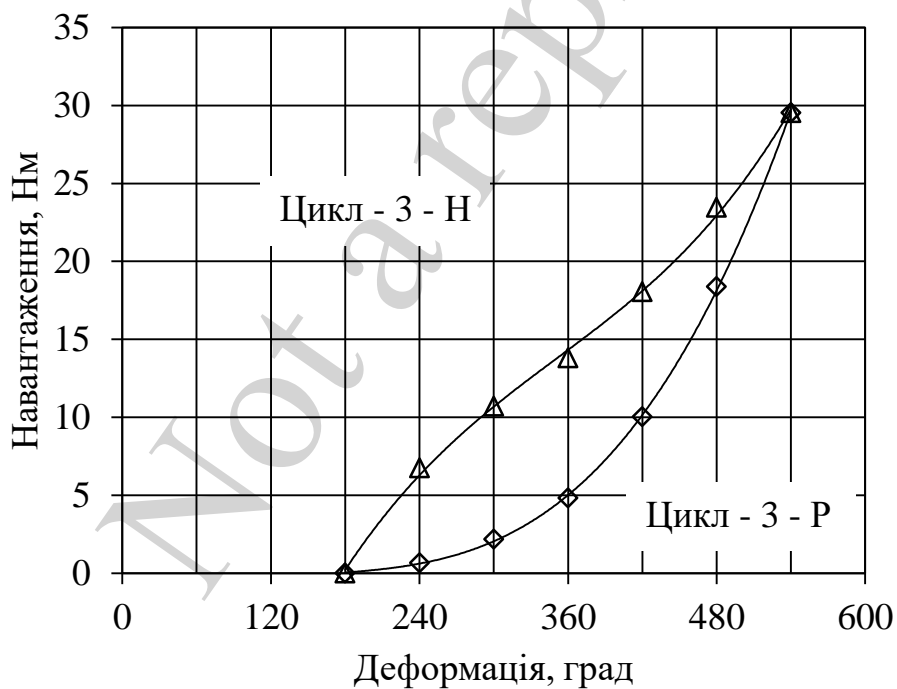


Рис. 11. Графіки трендів циклу 3: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_2=0.4$  МПа)

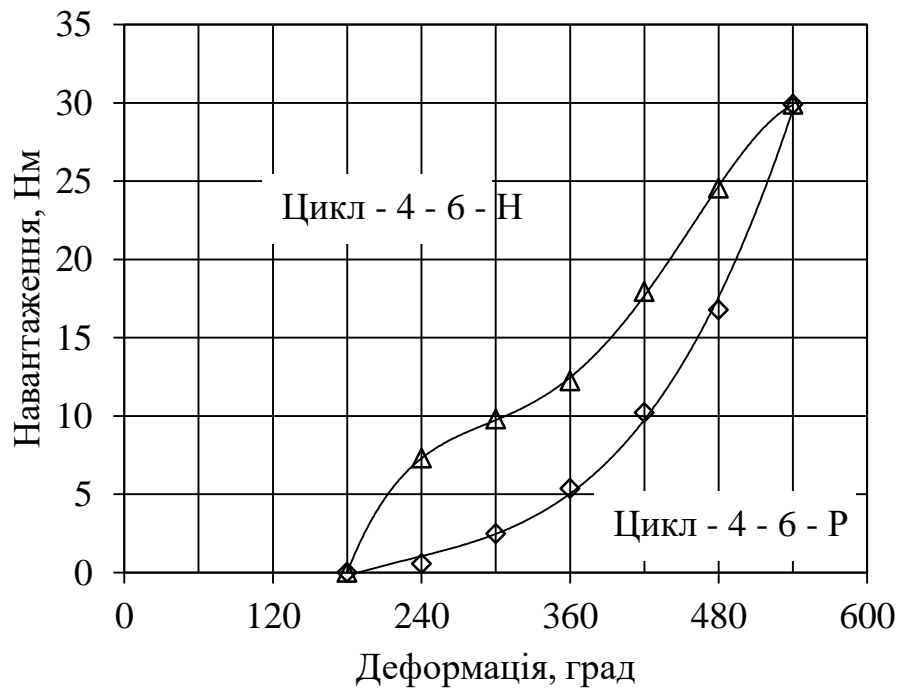


Рис. 12. Графіки трендів циклу 4–6: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_2=0.4$  МПа)

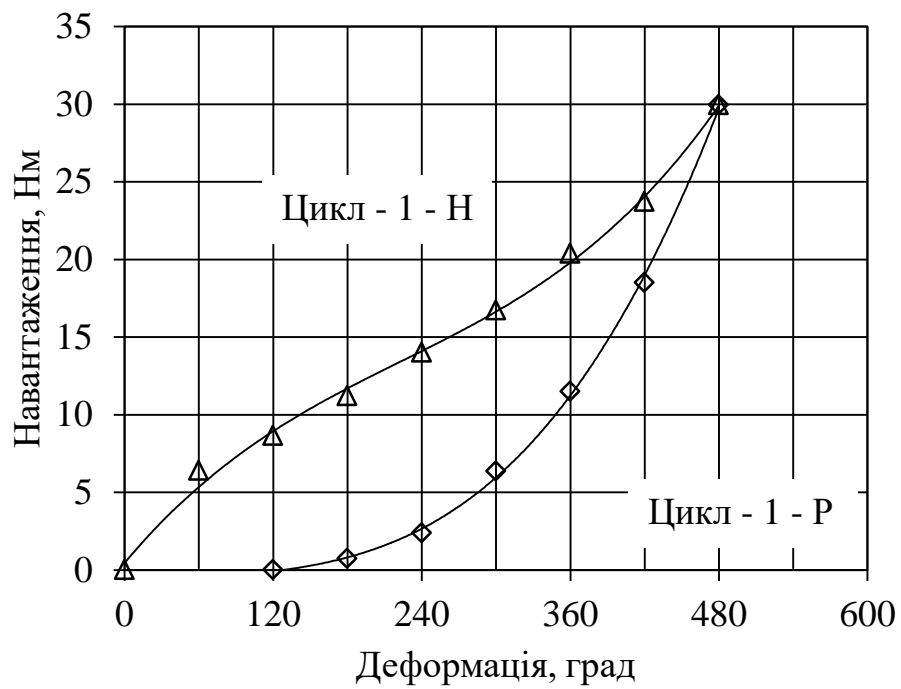


Рис. 13. Графіки трендів циклу 1: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_3=0.6$  МПа)

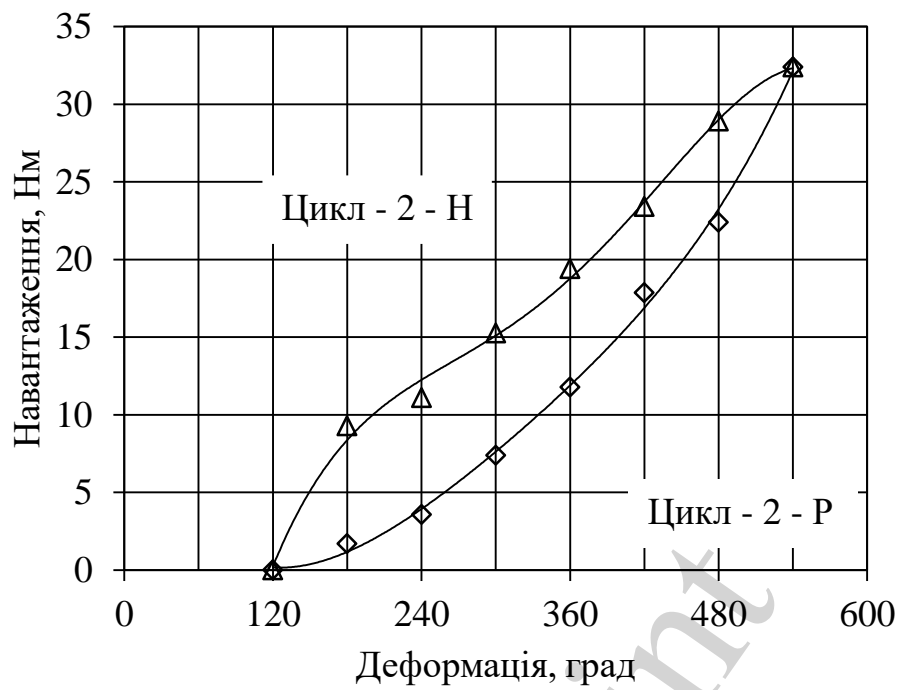


Рис. 14. Графіки трендів циклу 2: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_3=0.6$  МПа)

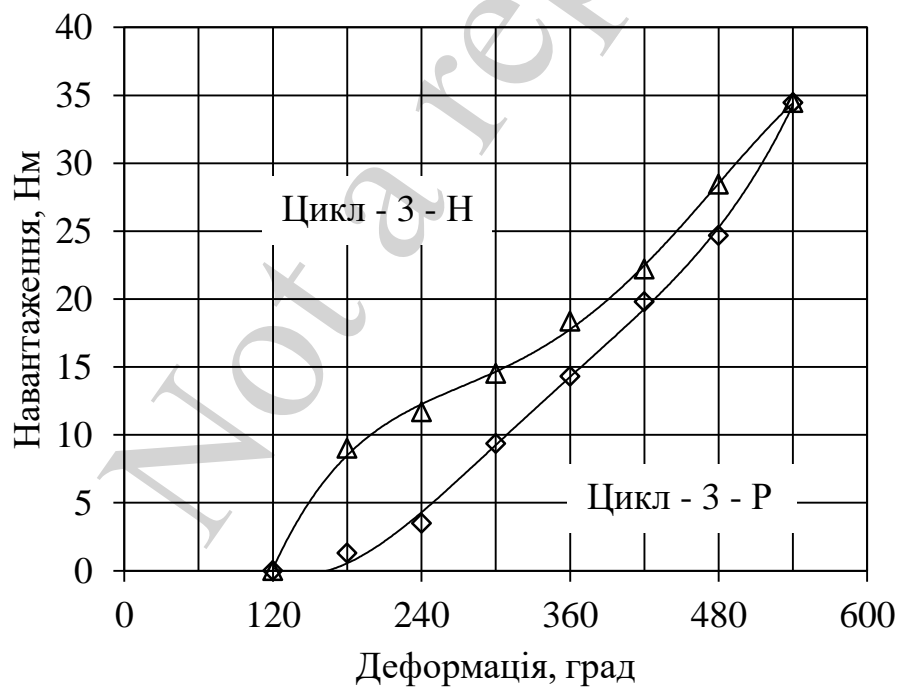


Рис. 15. Графіки трендів циклу 3: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_3=0.6$  МПа)

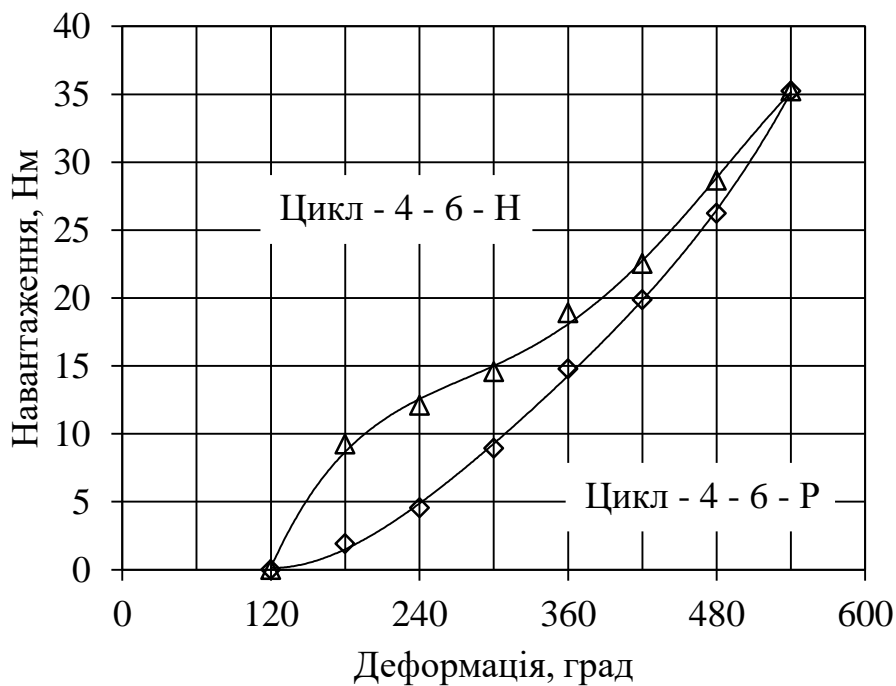


Рис. 16. Графіки трендів циклу 4–6: Н – навантаження; Р – розвантаження (тиск у рукаві  $P_3=0.6$  МПа)

Отримані залежності шляхом використання табличного процесора Microsoft Excel 2007 були апроксимовані поліноміальною лінією тренду. Види ліній тренду обиралися на основі розрахованого значення коефіцієнту детермінації, який характеризує ступінь близькості вказаних ліній до вихідних даних.

Серед можливих видів ліній тренду розглядалися також експоненціальна, лінійна, логарифмічна та степенева.

Відповідно найвище значення, яке наближалось до одиниці, було отримано для степеневі лінії тренду.

Одержані лінії тренду описують відповідні рівняння які наведені в табл. 8.

Таблиця 8.

Рівняння регресії та ступінь достовірності процесів

Цикл №	Рівняння залежності діючого моменту (Y) від деформації (кута закручування) (X)	Ступінь достовірності
$P_1=0.2$ МПа		
1-Н	$Y = 7E - 6 \cdot X^2 + 0,0284 \cdot X + 0,2697$	$R^2 = 0.9972$
1-Р	$Y = 7E - 7 \cdot X^3 - 0,0006 \cdot X^2 + 0,165 \cdot X - 15,065$	$R^2 = 0.999$
2-Н	$Y = 3E - 7 \cdot X^3 - 0,0004 \cdot X^2 + 0,187 \cdot X - 22,573$	$R^2 = 0.9994$
2-Р	$Y = 7E - 7 \cdot X^3 - 0,0008 \cdot X^2 + 0,2904 \cdot X - 35,842$	$R^2 = 0.9912$
3-Н	$Y = 3E - 7 \cdot X^3 - 0,0004 \cdot X^2 + 0,187 \cdot X - 22,573$	$R^2 = 0.9952$
3-Р	$Y = 9E - 8 \cdot X^3 - 3E - 5 \cdot X^2 + 0,018 \cdot X - 5,2156$	$R^2 = 0.9981$

4-6-Н	$Y = -3E - 9 \cdot X^4 + 6E - 6 \cdot X^3 - 0,005 \cdot X^2 + 1,749 \cdot X - 219,68$	$R^2 = 0.9991$
4-6-Р	$Y = 2E - 7 \cdot X^3 - 0,0002 \cdot X^2 + 0,1107 \cdot X - 20,122$	$R^2 = 0.9963$
$P_2=0.4 \text{ МПа}$		
1-Н	$Y = 2E - 7 \cdot X^3 - 0,0001 \cdot X^2 + 0,0653 \cdot X + 0,5484$	$R^2 = 0.9954$
1-Р	$Y = -5E - 8 \cdot X^3 - 0,0002 \cdot X^2 - 0,0588 \cdot X - 3,5143$	$R^2 = 0.9985$
2-Н	$Y = 4E - 7 \cdot X^3 - 0,0003 \cdot X^2 + 0,1559 \cdot X - 14,121$	$R^2 = 0.9931$
2-Р	$Y = 3E - 7 \cdot X^3 - 3E - 05 \cdot X^2 - 0,0182 \cdot X + 2,4667$	$R^2 = 0.9993$
3-Н	$Y = 7E - 7 \cdot X^3 - 0,0007 \cdot X^2 + 0,3176 \cdot X - 37,138$	$R^2 = 0.9986$
3-Р	$Y = 5E - 7 \cdot X^3 - 0,002 \cdot X^2 + 0,0453 \cdot X - 3,0864$	$R^2 = 0.9998$
4-6-Н	$Y = -9E - 9 \cdot X^4 + 1E - 5 \cdot X^3 - 0,0075 \cdot X^2 + 1,77 \cdot X - 145,94$	$R^2 = 0.9998$
4-6-Р	$Y = 8E - 7 \cdot X^3 - 0,0005 \cdot X^2 + 0,1417 \cdot X - 13,024$	$R^2 = 0.9998$
$P_3=0.6 \text{ МПа}$		
1-Н	$Y = 4E - 7 \cdot X^3 - 0,0003 \cdot X^2 + 0,0954 \cdot X + 0,4496$	$R^2 = 0.9969$
1-Р	$Y = 4E - 7 \cdot X^3 - 8E - 5 \cdot X^2 + 0,0124 \cdot X - 1,0843$	$R^2 = 0.9992$
2-Н	$Y = -4E - 9 \cdot X^4 + 6E - 6 \cdot X^3 - 0,0031 \cdot X^2 + 0,6959 \cdot X - 48,744$	$R^2 = 0.9966$
2-Р	$Y = 2E - 9 \cdot X^4 - 2E - 6 \cdot X^3 + 0,001 \cdot X^2 - 0,1711 \cdot X + 9,3312$	$R^2 = 0.9975$
3-Н	$Y = -4E - 9 \cdot X^4 + 6E - 6 \cdot X^3 - 0,0029 \cdot X^2 + 0,6895 \cdot X - 49,143$	$R^2 = 0.9988$
3-Р	$Y = 3E - 9 \cdot X^4 - 5E - 6 \cdot X^3 - 0,0023 \cdot X^2 - 0,4098 \cdot X + 23,91$	$R^2 = 0.9982$
4-6-Н	$Y = -4E - 9 \cdot X^4 + 5E - 6 \cdot X^3 - 0,0029 \cdot X^2 + 0,6836 \cdot X - 49,041$	$R^2 = 0.9983$
4-6-Р	$Y = 2E - 9 \cdot X^4 - 2E - 6 \cdot X^3 + 0,0011 \cdot X^2 - 0,1781 \cdot X + 9,437$	$R^2 = 0.9993$

Енергія ( $A_D$ ), що накопичена в зразку і яка відповідає дисипативним властивостям матеріалу фрагменту пожежного рукава, визначається площею петлі гістерезису як різниця робіт, витрачених при навантаженні ( $A_H$ ) і наступному розвантаженні ( $A_P$ ) зразка

$$A_D = A_H - A_P = \int_{\phi_{HP}}^{\phi_{HK}} M_H(\phi) d(\phi) - \int_{\phi_{RP}}^{\phi_{RK}} M_P(\phi) d(\phi), \quad (2)$$

де:  $M_H(\phi)$  – рівняння залежності діючого моменту від деформації (кута закручування) фрагменту рукава при його навантаженні;

$M_P(\phi)$  – рівняння залежності діючого моменту від деформації (кута закручування) фрагменту рукава при його розвантаженні;

$\phi_{HP}$  ( $\phi_{HK}$ ) – нижня (верхня) межі інтегрування, що відповідає початковій точці навантаження;

$\phi_{RP}$  ( $\phi_{RK}$ ) – нижня (верхня) межі інтегрування, що відповідає кінцевій точці розвантаження.

Для подальших розрахунків дисипативні властивості пожежного рукава доцільно визначити безрозмірним співвідношенням, або коефіцієнтом дисипації:

$$\beta = \frac{A_d}{A_H} \dots \quad (3)$$

Рівняння відповідних трендів отримані після статистичної обробки результатів дослідження засобами Microsoft Excel 2007 та відповідно визначено енергію навантаження ( $A_{Hi}$ )  $i$ -го циклу, енергія розвантаження ( $A_{Pi}$ )  $i$ -го циклу та коефіцієнт дисипації ( $\beta_i$ )  $i$ -го циклу.

Таблиця 9

Зведена таблиця результатів розрахунків деяких механічних властивостей пожежного рукава при зсуві

Характеристика	Позначення	Цикл			
		Цикл 1	Цикл 2	Цикл 3	Цикл 4–6
Тиск у рукаві $P_1=0.2$ МПа					
Максимальний момент	$M_i^{\max}$ , Нм	17.20	20.4	25.52	27.90
Максимальна деформація	$\Delta\phi_i^{\max}$ , градус	540	420	480	480
Залишкова деформація	$\Delta\phi_i^{\text{зал}}$ , градус	180	60	60	0
Модуль пружності	$G_i$ , МПа	1.67	2.54	2.78	3.04
Коефіцієнт дисипації	$\beta_i$	0.648	0.373	0.353	0.225
Тиск у рукаві $P_2=0.4$ МПа					
Максимальний момент	$M_i^{\max}$ , Нм	26.92	29.80	29.53	29.90
Максимальна деформація	$\Delta\phi_i^{\max}$ , градус	480	420	360	360
Залишкова деформація	$\Delta\phi_i^{\text{зал}}$ , градус	120	60	0	0
Модуль пружності	$G_i$ , МПа	2.93	3.71	4.29	4.35
Коефіцієнт дисипації	$\beta_i$	0.477	0.472	0.450	0.225
Тиск у рукаві $P_3=0.6$ МПа					
Максимальний момент	$M_i^{\max}$ , Нм	29.95	32.40	34.47	35.24
Максимальна деформація	$\Delta\phi_i^{\max}$ , градус	480	420	420	420
Залишкова деформація	$\Delta\phi_i^{\text{зал}}$ , градус	120	0	0	0
Модуль пружності	$G_i$ , МПа	3.26	4.03	4.29	4.39
Коефіцієнт дисипації	$\beta_i$	0.538	0.283	0.258	0.207

Узагальнення проведеного комплексу експериментальних випробувань представлено в табл. 9 в якій зведено усереднені оцінки міцності та пружності при зсуві матеріалу напірного пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм з випробувань на кручення.



## **5. Обговорення результатів дослідження пружних та дисипативних властивостей напірних пожежних рукавів**

Результатом проведення серії експериментального визначення пружних та дисипативних властивостей при зсуві матеріалу НПР типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм з випробувань на кручення визначено, що значний початковий гістерезис фрагменту пожежного рукава при крученні з різним внутрішнім тиском ( $P$ ) цикл 1 (рис. 5, 9, 13), цикл 2 (рис. 6, 10, 14), при циклах 3 (рис. 7, 11, 15), цикл 4–6 (рис. 8, 12, 16) значно зменшується. Це разом із зменшенням залишкових деформацій та стабілізацією пружних властивостей (табл. 9), наближає поведінку матеріалу рукава при крученні до пружної.

Не вдаючись до розгляду фізико-механічних властивостей матеріалу НПР та його структурних особливостей (це питання буде розглядатися в подальшій роботі), наведені рисунки є відображенням загальної картини експериментальних даних, стосовно рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 77 мм.

Ці випробування спрямовані лише на спрощену оцінку надійності НПР. В їх задачу не входить визначення фізико-механічних властивостей матеріалу НПР. Це обмежує можливості проведення теоретичних досліджень з використанням методу скінчених елементів.

Проведені випробування були обмежені дослідженням тільки одного виду рукавів, при цьому не враховувалась ступінь його зношеності.

Ці обмеження можуть бути усунені дослідженням різних типів рукавів з довільним терміном використання та статистичною обробкою результатів.

Надійне і безпечне використання НПР, яке обумовлюється гідравлічними випробуваннями на герметичність за надлишковим тиском під час планових перевірок, визначає лише цілісність та герметичність напірних пожежних рукавів.

Подальшим розвитком відповідних досліджень є експериментальний аналіз впливу дії циклічного деформування, а також впливу високих температур на фізико-механічні властивості матеріалу НПР.

Вказані дослідження потребують розробки, як нової методики проведення експериментів, так і виготовлення відповідного обладнання.

## **6. Висновки**

1. Експериментальними дослідженнями з визначення пружних властивостей при зсуві матеріалу НПР з випробувань на кручення встановлено, що модуль пружності матеріалу рукава стабілізується на рівні 3.04 МПа для  $P_1$ , 4.35 МПа для  $P_2$ , 4.39 МПа для  $P_3$ . При цьому величина модуля пружності при майже однаковому діапазоні навантаження ( $17 \div 35$  Нм, з урахуванням тиску ( $P$ )), вельми залежать від «історії» навантаження, тобто, на перших двох, трьох режимах випробувань відповідні жорсткості та модулі пружності збільшувалися і лише потім на наступних – стабілізувалися, при суттєвому зменшенні залишкових деформацій ( $5 \div 0$  мм).

2. Експериментальними дослідженнями з визначення дисипативних властивостей НПР з випробувань на кручення встановлено, що коефіцієнт дисипації матеріалу рукава стабілізувався на рівні  $0.225 \div 0.225$ . При цьому його величина

при майже однаковому діапазоні навантаження ( $17 \div 35$  Нм, з урахуванням тиску ( $P$ )), стабільно зменшувалась і лише потім на наступних – стабілізувалися.

### Література

1. Kovalenko, R., Kalynovskyi, A., Nazarenko, S., Kryvoshei, B., Grinchenko, E., Demydov, Z. et. al. (2019). Development of a method of completing emergency rescue units with emergency vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (3 (100)), 54–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175110>
2. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 11–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>
3. Tiutiunyk, V. V., Ivanets, H. V., Tolkunov, I. A., Stetsyuk, E. I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 99–105. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
4. Ларін, О. М., Чернобай, Г. О., Коханенко, В. Б., Назаренко, С. Ю. (2015). Дослідження поздовжньої жорсткості пожежного рукава типу "Т" діаметром 77 мм з урахуванням структурних елементів пожежного рукава. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях, 39, 41–46.
5. Fedorko, G., Molnar, V., Dovica, M., Toth, T., Fabianova, J. (2015). Failure analysis of irreversible changes in the construction of the damaged rubber hoses. *Engineering Failure Analysis*, 58, 31–43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.08.042>
6. Cho, J.-R., Yoon, Y.-H. (2016). Large deformation analysis of anisotropic rubber hose along cyclic path by homogenization and path interpolation methods. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30 (2), 789–795. doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-016-0134-5>
7. Cho, J. R., Yoon, Y. H., Seo, C. W., Kim, Y. G. (2015). Fatigue life assessment of fabric braided composite rubber hose in complicated large deformation cyclic motion. *Finite Elements in Analysis and Design*, 100, 65–76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.finel.2015.03.002>
8. Traxl, R., Mungenast, D., Schennach, O., Lackner, R. (2019). Mechanical performance of textile-reinforced hoses assessed by a truss-based unit cell model. *International Journal of Engineering Science*, 141, 47–66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2019.05.006>
9. Моторин, Л. В., Степанов, О. С., Братолубова, Е. В. (2011). Упрощенная математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии. *Технология текстильной промышленности*, 1, 126–133.
10. Кобеева, Н. М., Тогатаев, Т. У., Елдияр, Г. К., Куралбаева, А. Н., Жолаева, Н. Х., Садыбаева, И. Р. (2016). Геометрические плотности по основе и

утку ткани армирующего каркаса напорного пожарного рукава. *Science and world*, 1 (5 (33)), 90–91.

11. Larin, O. O. (2015). Probabilistic Model of Fatigue Damage Accumulation in Rubberlike Materials. *Strength of Materials*, 47 (6), 849–858. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-015-9722-3>

12. Larin, A. A., Vyazovichenko, Y. A., Barkanov, E., Itskov, M. (2018). Experimental Investigation of Viscoelastic Characteristics of Rubber-Cord Composites Considering the Process of Their Self-Heating. *Strength of Materials*, 50 (6), 841–851. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00030-7>

13. Larin, O., Morozov, O., Nazarenko, S., Chernobay, G., Kalynovskyi, A., Kovalenko, R. et. al. (2019). Determining mechanical properties of a pressure fire hose the type of «T». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (102)), 63–70. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184645>

14. Haseeb, A. S. M. A., Jun, T. S., Fazal, M. A., Masjuki, H. H. (2011). Degradation of physical properties of different elastomers upon exposure to palm biodiesel. *Energy*, 36 (3), 1814–1819. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.023>

15. Lee, G.-C., Kim, H.-E., Park, J.-W., Jin, H.-L., Lee, Y.-S., Kim, J.-H. (2011). An experimental study and finite element analysis for finding leakage path in high pressure hose assembly. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 12 (3), 537–542. doi: <https://doi.org/10.1007/s12541-011-0067-y>

16. Pavloušková, Z., Klakurková, L., Man, O., Čelko, L., Švejcar, J. (2015). Assessment of the cause of cracking of hydraulic hose clamps. *Engineering Failure Analysis*, 56, 14–19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.05.014>